

**Analisa Koordinasi Isolasi Gardu Induk
150 KV Mojosongo Boyolali terhadap Gangguan Surja Petir**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

ADITYA YUDHI KURNIAWAN

D 400 160 078

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

**Analisa Koordinasi Isolasi Gardu Induk
150 KV Mojosongo Boyolali terhadap Gangguan Surja Petir**

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

ADITYA YUDHI KURNIAWAN

D 400 160 078

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



UMAR S.T., M.T

NIK : 781

HALAMAN PENGESAHAN

**Analisa Koordinasi Isolasi Gardu Induk
150 KV Mojosongo Boyolali terhadap Gangguan Surja Petir**

OLEH

ADITYA YUDHI KURNIAWAN

D 400 160 078

**Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Selasa, 14 Juli 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. Dosen Pembimbing

(Umar, S.T., M.T)

(.....)

2. Dosen Penguji

(Ir. Jatmiko, MT)

(.....)

3. Dosen Penguji

(Tindyo Prasetyo, ST. MT)

(.....)

Dekan,



Dr. Set. Sunarjono, MT., PhD

NIK. 628

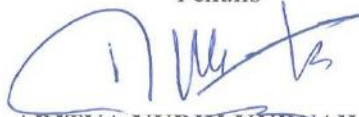
PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publiasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 14 Juli 2020

Penulis


ADITYA YUDHI KURNAWAN

D 400160 078

Analisa Koordinasi Isolasi Gardu Induk 150 KV Mojosongo Boyolali terhadap Gangguan Surja Petir

Abstrak

Gardu induk merupakan terminal sistem tenaga listrik yang menghubungkan jaringan transmisi dan jaringan distribusi, yang berarti merupakan bagian penting penyaluran tenaga listrik. Gardu induk juga tidak terlepas dari Koordinasi Isolasi. Koordinasi Isolasi yang baik mampu menahan tegangan kerja sistem saat normal dan saat tegangan tidak normal yang mungkin muncul dalam sistem, serta mampu menjaga keamanan segala peralatan pada sistem ketika terjadi gangguan. Salah satu gangguan pada gardu induk yang dapat menimbulkan kerusakan besar pada peralatan didalamnya adalah surja petir. Data BMKG menyebutkan bahwa Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi sambaran petir terbanyak setiap tahunnya. Data wilayah petir dari BMKG juga menyebutkan pada tahun 2019, wilayah sekitar Gardu Induk Mojosongo Boyolali mempunyai tingkat potensi petir pada level sedang dengan curah petir 148 dan 40,65 IKL, sehingga memiliki potensi sambaran petir 6,094/km/tahun.

Penelitian kali ini menganalisa Koordinasi Isolasi dari Gardu Induk 150 kV Mojosongo Boyolali terhadap gangguan surja petir. Gardu Induk dengan kapasitas 150 kV memiliki *lightning arrester* dengan tegangan nominal 150 kV dengan arus pelepasan sebesar 5,58 kA sehingga membuat persentase faktor perlindungan untuk transformator daya sebesar 74% serta 40% untuk *Current Transformer dan Disconnecting Switch*. Peletakan *lightning arrester* sejauh 3 meter dari transformator, membuat *lightning arrester* tersebut dapat menahan sambaran kecuraman gelombang surja 8.750 kV/(μ s) pada *lightning arrester* merk PARAFoudre type HML 150 dan 10.500 kV/(μ s) pada *lightning arrester* merk ALSTHOM type PSC 150 Y.

Kata kunci : BIL (*Basic Isolation Level*), Koordinasi Isolasi, Jarak *Lightning Arrester*

Abstract

A substation is an electric power terminal that connects a transmission network and a distribution network, which means an important part of the distribution of electric power. The main station is also inseparable from the Isolation Coordination. Good coordination Isolation is able to withstand the normal working voltage and abnormal voltage that may appear in the system, and is able to maintain the security of all equipment in the system when interference occurs. One of the disturbances at the main substation which can cause a great crunch on the equipment inside is lightning surges, according to BMKG Indonesia is one of the countries that has the most potential lightning strikes each year. Based on lightning area data from BMKG in 2019, the area around the Mojosongo Substation has lightning potential at moderate levels with lightning rainfall of 148 and 40.65 IKL, so it has the potential of lightning strikes of 6,094 / km / year.

This study analyzed the Isolation Coordination of the 150 kV substation Mojosongo, Boyolali against lightning surge disruptions. The 150 kV substation has a lightning arrester with a nominal voltage of 150 kV with a discharge current of 5.58 kA, making the protection factor percentage for the power transformer 74% and 40% for the Current Transformer and Disconnecting Switch. The lightning arrester places 3 meters away from the transformer making the lightning arrester able to withstand waves of 8,750 kV/(μ s) in PARAFoudre HML 150 and 10,500 kV/(μ s) PARAFoudre lightning arresters at ALSTHOM PSC 150 Y lightning arresters.

Keywords : BIL (Basic Insulation Level), Isolation Coordination, Distance of Lightning Arrester.

1. PENDAHULUAN

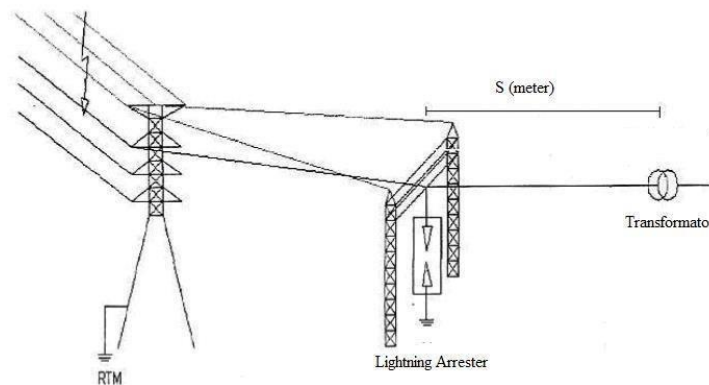
Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak di sekitar garis khatulistiwa (*equatorial bolt*) dengan iklim tropis sehingga membuat Indonesia memiliki hari guruh per tahun yang cukup tinggi yaitu 100 sampai 200 . Hari guruh yang tinggi maka akan menimbulkan potensi sambaran petir yang akan mengakibatkan gangguan pada penyaluran tenaga listrik dan kerusakan infrastruktur baik pada sistem tenaga listrik, transmisi, dan telekomunikasi (Adiwibowo, T. S. (2019)).

Gardu induk adalah terminal sistem tenaga listrik yang menghubungkan jaringan transmisi dan jaringan distribusi, yang berarti merupakan bagian penting dalam penyaluran tenaga listrik. Melihat begitu pentingnya fungsi dari Gardu Induk tersebut maka Koordinasi Isolasi perlu disiapkan pada sebuah Gardu Induk, sehingga dapat memproteksi segala instrument pada Gardu Induk apabila mendapatkan gangguan surja petir. Sambaran surja petir dapat mengakibatkan timbulnya gelombang impuls berjalan pada saluran penghantar. Gelombang berjalan ini akan menyebabkan terjadinya tegangan lebih (*over voltage*), dan juga dapat mengakibatkan terjadinya lompatan api (*flash over*), apabila tegangan puncaknya melampaui kemampuan impuls isolasi atau BIL (*Basic Impulse Insulation Level*) peralatan pada Gardu Induk. (Abdelhafid Bayad, dkk(2018)) .

Lightning Arrester berfungsi untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Tegangan pengenal dan arus pelepasan arrester perlu ditentukan agar sesuai dengan kebutuhan isolasi dari Gardu Induk itu sendiri. Tegangan pengenal arrester merupakan tegangan dimana arrester masih dapat bekerja sesuai dengan karakteristiknya, sementara arus pelepasan adalah kemampuan *lightning arrester* dalam mengalirkan arus apabila menerima sambaran surja petir. Arus pelepasan *lightning arrester* harus dibawah rating arus *lightning arrester* itu sendiri (Assafat L, dkk(2012)). Koordinasi Isolasi pada Gardu Induk dapat didefinisikan sebagai korelasi antara tahanan – tahanan isolasi pada setiap peralatan penting di Gardu Induk. Faktor Perlindungan merupakan parameter dalam menentukan tingkat kualitas Koordinasi Isolasi pada peralatan – peralatan pada Gardu Induk. Faktor perlindungan pada umumnya bernilai 20% dan faktor perlindungan yang baik tidak boleh berada dibawah 20%.

Peletakan jarak pemasangan *lightning arrester* terhadap transformator sangat mempengaruhi tingkat perlindungannya, penempatan *lightning arrester* yang dipasang sedekat mungkin dengan transformator dapat menghasilkan tingkat perlindungan yang baik tetapi ketika di lapangan pemasangan jarak (*S*) *lightning arrester* juga harus memperhatikan

keefektifan saluran penghantar yang menginterkoneksi peralatan – peralatan yang ada di dalam Gardu Induk.



Gambar 1. Ilustrasi jarak *Lightning Arrester* dengan Transformator

Jarak optimal antara *lightning arrester* dan peralatan yang dilindungi dapat ditentukan dengan memperhatikan kecuraman dari gelombang surja yang datang, kecepatan perambatan gelombang, tegangan percik arrester, sehingga konsep perlindungan terhadap peralatan dalam hal ini koordinasi isolasi dapat tercapai secara optimal. (Assafat L,dkk(2012)). Analisa Koordinasi Isolasi gardu induk 150 kV Mojosongo Boyolali terhadap surja petir dapat ditinjau dengan menghitung potensi sambaran petir pada wilayah tersebut, penentuan tingkat faktor perlindungan peralatan, menghitung jarak maksimum pemasangan *lightning arrester* terhadap transformator, menganalisa kemampuan kinerja *lightning arrester* dengan variabel jarak tertentu dengan memperhatikan tingkat kecuraman muka gelombang terhadap tegangan jepitan transformator. Penelitian ini membahas jarak optimal antara *lightning arrester* dengan transformator bila dihubungkan langsung dengan saluran udara dan transformator dianggap sebagai jepitan tertutup.

2 METODE

Langkah-langkah penelitian menggunakan beberapa metode,yaitu :

2.1 Studi literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan cara mengumpulkan bahan penelitian dari berbagai jurnal ilmiah dan buku.

2.2 Pengumpulan Data

Pengambilan data yang dilakukna secara langsung di Gardu Induk 150 KV Mojosongo,Boyolali dengan mengambil beberapa data pada transformator yaitu rugi-rugi daya berbeban dan tak berbeban, penggunaan transformator selama sehari.

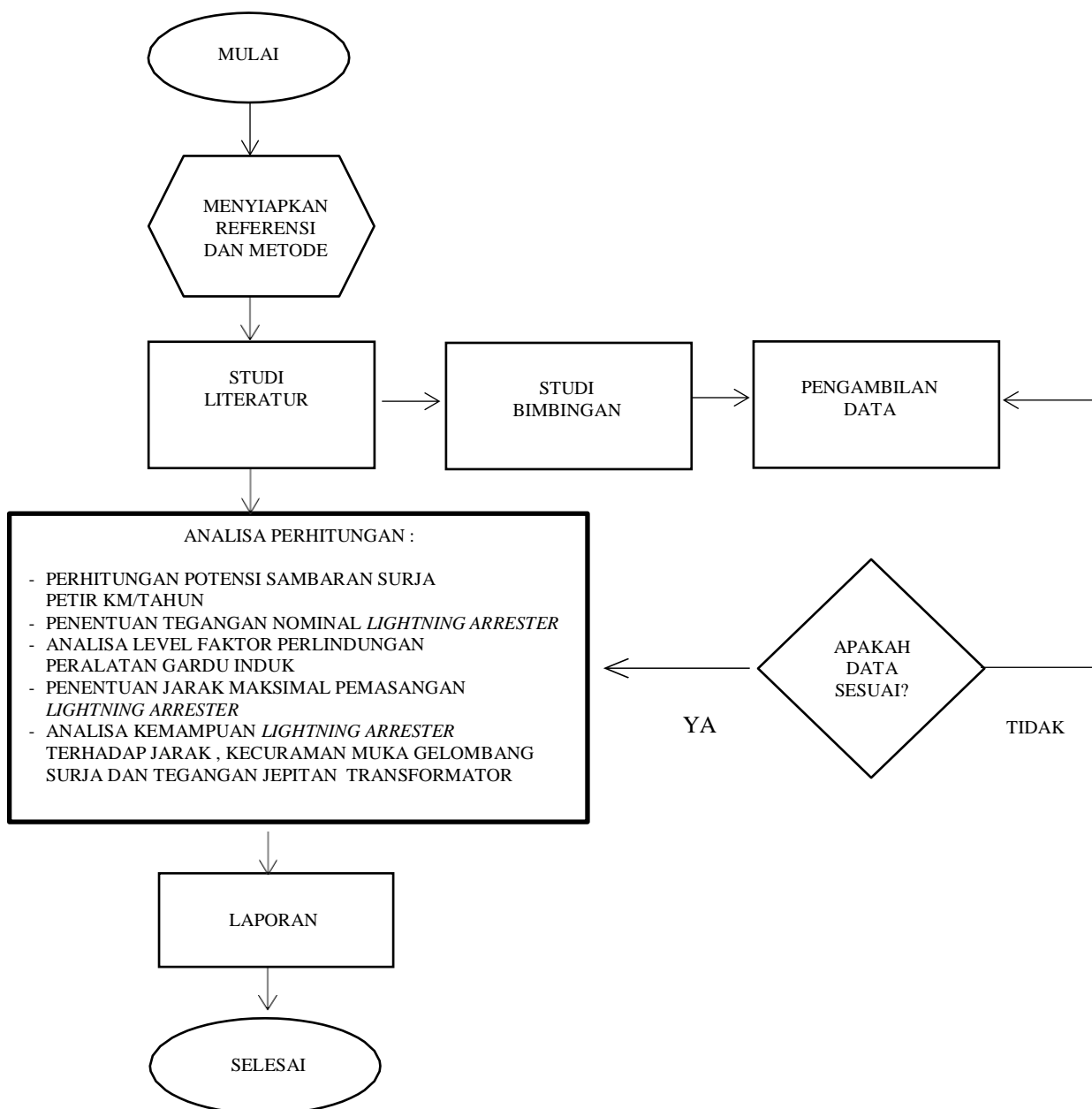
2.3 Perhitungan data

Setelah pengambilan data cukup langkah selanjutnya yaitu perhitungan data sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Jika dirasa perhitungan sudah cukup memuaskan langkah selanjutnya yaitu tahap kesimpulan.

2.4 Tahap Kesimpulan

Setelah perhitungan selesai maka selanjutnya dilakukan kesimpulan apakah data dan perhitungan sudah sesuai.

2.5 Flowchart



Gambar 2. Flowchart Penelitian

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data yang diperoleh :

Table 1. Spesifikasi *Nameplate lightning arrester* terpasang

Lightning Arrester 1		Lightning Arrester 2	
Merk/Type	PARAFOUDRE/HML 150	Merk/Type	ALSTHOM/PSC 150 Y
Rated Voltage (U_a)	150 kV	Rated Voltage (U_a)	150 kV
Rated Current	10 kA	Rated Current	10 kA
Pemasangan	Trafo 150/20 kV	Pemasangan	Trafo 150/22 kV
Jarak Pemasangan	3 Meter	Jarak Pemasangan	3 Meter

3.1 Potensi Gangguan Sambaran Petir pada Wilayah Gardu Induk

Untuk menentukan jumlah potensi sambaran petir pada wilayah Gardu Induk Mojosongo Boyolai 150kV diperlukan data thunderstorm atau hari guruh untuk mencari banyaknya jumlah hari guruh atau IKL (Iso Kreaunic Level) pada daerah sekitaran Gardu Induk . Data hari guruh BMKG tahun 2019 menunjukkan bahwa wilayah sekitar Gardu Induk memiliki curah petir 181 dan IKL 40,63 sambaran per tahun dan menurut BMKG nilai tersebut berada pada level sedang. Potensi terjadinya sambaran petir pada wilayah tersebut dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$N = 0.15 \times \text{IKL 1 Tahun sebelumnya} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

N = jumlah sambaran petir km/tahun

Sehingga:

$$\begin{aligned} N &= 0,15 \times (40,63) \\ &= 6,094/\text{km}/\text{tahun} \end{aligned}$$

3.2 Penentuan kebutuhan *Lightning Arrester* Pada Gardu Induk

Tegangan sistem pada G.I Mojosongo Boyolali adalah 150 kV. Ada beberapa faktor yang perlu diperhitungkan agar spesifikasi *arrester* memenuhi kriteria proteksi terhadap transformator daya.

3.2.1 Tegangan Pengenal

Suatu sistem yang bekerja pada keadaan tegangan maksimum umumnya tidak melebihi 1,1 kali tegangan nominal sistem. Pemilihan *lightning arrester* yang juga harus diperhatikan adalah koefisien pembumian, dimana faktor dari koefisien pembumian ini nilainya bergantung pada metode pembumian netral sistem. Sistem yang dibumikan efektif (Pentanahan langsung dengan tanah/pentanahan titik netral tanpa impedansi) titik nilai koefisiannya 0,8. Sistem yang dibumikan tidak efektif (Pentanahan langsung dengan tanah/pentanahan titik netral melalui impedansi) nilai koefisien pembumiannya adalah 0,8 – 1,0. Sistem pentanahan pada Gardu Induk Mojosongo adalah pembumian efektif, kemudian untuk menentukan tegangan nominal/ tegangan pengenal *lightning arrester* yang di butuhkan Gardu Induk dapat menggunakan persamaan :

$$E_r = \alpha \times \beta \times U_m \dots\dots\dots (2)$$

Dengan :

- E_r = Tegangan pengenal (kV).
- α = Koefisien Pentanahan.
- β = Toleransi flukstansi tegangan.
- U_m = Tegangan nominal system (kV).

Sehingga ,

$$\begin{aligned} E_r &= \alpha \times \beta \times U_m \\ E_r &= (0.8) \times (110\%) \times 150 \text{ kV} \\ E_r &= 132 \text{ kV} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapat bahwa tegangan nominal *arrester* yang harus dipasang adalah 132 kV. Tegangan nominal *lightning arrester* terpasang pada GI Mojosongo adalah 150 kV. Sehingga, *lightning arrester* terpasang sudah sesuai berdasarkan tegangan nominalnya. Tegangan nominal *lightning arrester* hendaknya mendekati hasil perhitungan, namun bila diatas nilai perhitungan akan lebih baik serta juga sudah sesuai dengan ketentuan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ketentuan kebutuhan perlindungan Gardu Induk

SPESIFIKASI	TEGANGAN NOMINAL SISTEM		
	150 kV	66 kV	20 kV
Tegangan Tertinggi untuk Peralatan	170 kV	72,5 kV	24 kV
Pentanahan Netral	Efektif	Tahanan	Tahanan
Transformator Tegangan pengenalan (sisi tegangan tinggi)	150 kV	66 kV	20 kV
Tingkat Isolasi Dasar (IID)	650 kV	325 kV	125 kV
Penangkap petir Tegangan pengenalan	138 kV ⁽¹⁾ 150 kV ⁽¹⁾	75 kV ⁽¹⁾	21 kV ⁽¹⁾ 24 kV ⁽¹⁾
Arus pelepasan nominal	10 kA	10 kA 5kA	5 kA ⁽²⁾
Tegangan pelepasan	460 kV ⁽¹⁾ 500 kV ⁽¹⁾	270 kV ⁽¹⁾	76 kV ⁽¹⁾ 87 kV ⁽¹⁾
Tegangan percikan denyut muka gelombang (MG)	530 kV 577 kV	310 kV	88 kV 100 kV
Tegangan percikan denyut Standar *)	460 kV 500 KV	270 kV	76 kV 87 kV
Kelas	10 kA tugas berat 10 kA tugas ringan	10 kA tugas ringan 5 kA seri A	5 kA Seri A

3.2.2 Perhitungan Nilai Arus Pelepasan Arrester

3.2.2.1 Penentuan Tegangan Tembus Isolator

Penentuan tingkat keamanan *lightning arrester* dapat ditentukan dengan cara mengetahui nilai arus pelepasan arrester pada saat saluran terkena sambaran petir. Parameter yang dibutuhkan sebelum melakukan perhitungan arus pelepasan *lightning arrester* yaitu tegangan tembus isolator (U_d) dan impedansi surja (Z_0). Tegangan tembus isolator udara (U_d) dapat ditentukan menggunakan persamaan :

$$U_d = U_{50\%} = (K_1 W + K_2 W / t^{0,75}) \times 10^3 \text{ kV} \dots\dots\dots (3)$$

dengan :

W = panjang rentangan isolator untuk tegangan 150 kV (0,886).

K_1 = 0,4 $W = 0,4 \times 0,886 = 0,35$

K_2 = 0,7 $W = 0,7 \times 0,886 = 0,62$

t = waktu tegangan berdasarkan waktu muka gelombang 1,2 μ det.

Sehingga ,

$$U_d = U_{50\%} = (K_1 W + K_2 W / t^{0,75}) \times 10^3 \text{ kV}$$

$$U_d = 1.105 \text{ kV}$$

3.2.2.2 Penentuan Impedansi Surja

Parameter selanjutnya adalah Impedansi surja ($Z\emptyset$), dengan memperhatikan tegangan surja datang diasumsikan 1000 kV sesuai dengan tegangan standar gelombang petir dan tegangan kerja *lightning arrester* adalah 150 kV. Nilai tahanan dari *lightning arrester* adalah 6,6 ohm. Jarak antara konduktor dengan tanah (*ground*) yaitu 3 meter, maka impedansi surja petir dapat dihitung dengan persamaan :

$$(Z\emptyset) = 60 \ln 2h / r (\Omega) \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

$$h = 3 \text{ (m) (Tinggi dari konduktor ke tanah)}$$

$$r^2 = \sqrt{\frac{527,6}{\pi}} \text{ (Jari-jari konduktor)}$$

$$r = 12,96 \text{ mm} = 0,0129 \text{ m}$$

sehingga:

$$(Z\emptyset) = 60 \ln 2h / r (\Omega)$$

$$(Z\emptyset) = 60 \ln (2 \times 3 \text{ m} / 0,0129 \text{ m})$$

$$(Z\emptyset) = 368,53 \Omega$$

3.2.2.3 Penentuan Arus Pelepasn

Tegangan tembus isolator (U_d) sesuai dengan perhitungan diatas adalah 1.105 kV, sementara tegangan kerja (U_a) pada *lightning arrester* terpasang di Gardu Induk yaitu 150 kV serta impedansi surja adalah 368,5 Ω Sehingga arus pelepasan *arrester* dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$I_a = \frac{2U_d - U_a}{Z\emptyset} \dots\dots\dots (5)$$

$$I_a = \frac{(2 \times 1.105.000) - 150.000}{368,53} = 5,58 \text{ kA}$$

3.3 Perhitungan Tingkat Faktor perlindungan Gardu Induk

Faktor perlindungan merupakan nilai tolak ukur dari tingkat perlindungan yang ada di gardu induk. Faktor perlindungan pada umumnya bernilai 20% dan faktor perlindungan yang baik tidak boleh berada dibawah 20%. Peralatan gardu induk paling penting untuk mendapatkan perlindungan yang baik dari surja petir seperti trafo daya, *current transformator* dan *Disconnecting Switch*

$$\text{Peralatan} = \frac{(\text{BIL Peralatan} - \text{Tingkat Perlindungan Arrester})}{\text{BIL Peralatan}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Tingkat Perlindungan Arrester} &= U_a \times 10\% \text{ (panjang kawat + toleransi pabrik)} \\ &= 150 \times 1,1 \\ &= 165 \text{ kV} \end{aligned}$$

FP Transformator Daya 150/22 kV	$= \frac{(650 - 165)}{650} \times 100\% = 74 \%$
FP Transformator Daya 150/20 kV	$= \frac{(650 - 165)}{650} \times 100\% = 74 \%$
FP CT 600/1A dan <i>Disconnecting Switch</i> (DS)	$= \frac{(275 - 165)}{275} \times 100\% = 40 \%$

3.4 Perhitungan jarak maksimum antara arrester dan transformator.

Perhitungan jarak maksimum pemasangan *lightning arrester* dengan peralatan yang di lindungi dengan menggunakan teori pantulan berulang. Tegangan sistem peralatan dengan tegangan transmisi 150 kV dan BIL 650 kV. BIL 650 kV sebagai Tegangan jepitan Transformator (E_p) karena apabila ada tegangan melebihi 650 kV maka akan menjadi tegangan jepitan terbuka karena / sambungan transformator pada *lightning arrester* akan terputus. Arrester melindungi trafo dengan tegangan pelepasan / tegangan kerja dari *lightning arrester* 1 arrester 425 Kv (E_{a1}) dan *lightning arrester* 2 arrester 500 kV (E_{a2}), misalkan percobaan surja yang datang merambat menuju peralatan yang dilindungi arrester dengan kecepatan 300 m / μ dt (v) serta kecuraman gelombang menggunakan variable *constants* 1000 dv/dt (A), penentuan jarak maksimum arrester terhadap peralatan yang dilindungi menggunakan persamaan

$$S = (E_p - E_a) \times \frac{v}{2A} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

E_p = Tegangan terminal transformator (kV)

E_a = Tegangan percik Arrester (kV)

A = Kecuraman Muka Gelombang (kV/ μ s)

v = Kecepatan gelombang berjalan (m/s)

Perhitungan pada *lightning arrester* 1 Merk PARAFODRE type HML 150 dengan transformator 1

$$\begin{aligned} E_p &= E_{a1} + 2 \frac{AS}{v} \\ 650 &= 475 + 2 \frac{1000 S}{300} \\ 650 &= 475 + 6,67S \\ -6,67S &= 475 - 650 \\ -6,67S &= -175 \\ -S &= -26,23 \\ S &= 26 m \end{aligned}$$

Perhitungan pada *lightning arrester* 2 Merk ALSTHOM PSC 150Y dengan transformator 2

$$\begin{aligned} E_p &= E_{a2} + 2 \frac{AS}{v} \\ 650 &= 440 + 2 \frac{1000 S}{300} \\ 650 &= 440 + 6,67S \\ -6,67S &= 440 - 650 \\ -6,67S &= -225 \\ -S &= -31,48 \\ S &= 31 m \end{aligned}$$

3.5 Menganalisa Hubungan antara Tingkat Kecuraman Muka Gelombang Terhadap

Tegangan pada Jepitan Transformator

Pengukuran di lapangan di dapatkan bahwa antara jarak arrester 1 dengan merk PARAFODRE *type* HML 150 dengan transformator 1 berjarak 3 meter. Maka jarak (S) = 3 Meter dan $\left(\frac{de}{dt}\right)$ kecuraman gelombang datang dengan dianggap konstan ($\text{kV}/\mu\text{s}$) antara 200 hingga $1000 \frac{\text{kV}}{\mu\text{s}}$. Maka tegangan di jepitan transformator adalah :

$$1. \frac{de}{dt} = 200 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } E_p &= E_a + 2A \frac{S}{V} \\ &= 475 + 2 \times 200 \times \frac{3}{300} \\ &= 476 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$3. \frac{de}{dt} = 1000 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } E_p &= E_a + 2A \frac{S}{V} \\ &= 475 + 2 \times 1000 \times \frac{3}{300} \\ &= 495 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$2. \frac{de}{dt} = 500$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } E_p &= E_a + 2A \frac{S}{V} \\ &= 475 + 2 \times 500 \times \frac{3}{300} \\ &= 482 \text{ kV} \end{aligned}$$

Perhitungan untuk jarak arrester 2 dengan merk ALSTHOM *type* PSC 150 Y dengan transformator 2 berjarak 3 Meter. Maka jarak (S) = 3 Meter dan kecuraman gelombang datang $\left(\frac{de}{dt}\right)$ dengan dianggap konstan antara 200 hingga $1000 \frac{\text{kV}}{\mu\text{s}}$. Maka tegangan di jepitan transformator adalah :

$$1. \frac{de}{dt} = 200 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

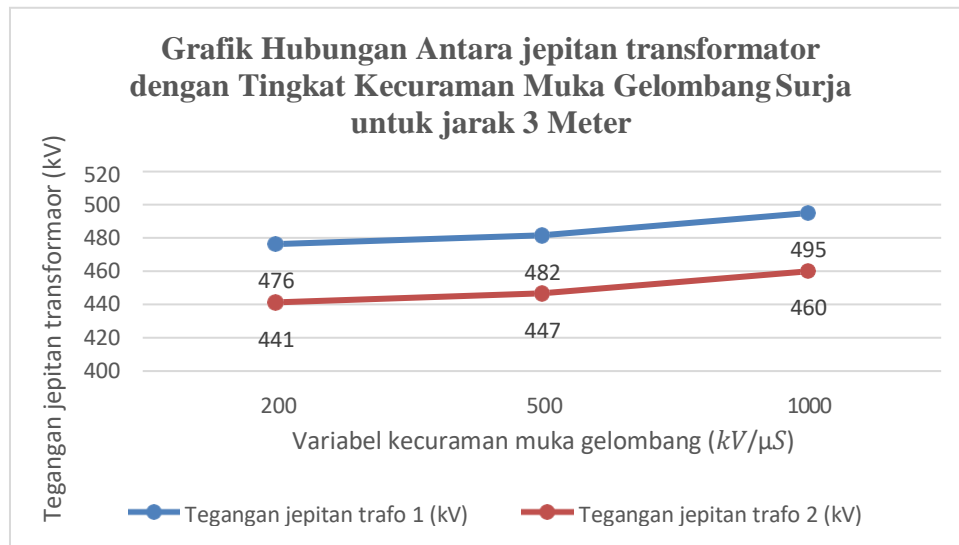
$$\begin{aligned} \text{Maka } E_p &= E_a + 2A \frac{S}{V} \\ &= 440 + 2 \times 200 \times \frac{3}{300} \\ &= 441 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$2. \frac{de}{dt} = 500$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } E_p &= E_a + 2A S/V \\ &= 440 + 2 \times 500 \times 3/300 \\ &= 447 \text{ kV} \end{aligned}$$

$$3. \frac{de}{dt} = 1000 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } E_p &= E_a + 2A S/V \\ &= 440 + 2 \times 1000 \times 3/300 \\ &= 460 \text{ kV} \end{aligned}$$



Gambar 2. Grafik hubungan jepitan transformator dengan kecuraman gelombang surja pada jarak 3 meter

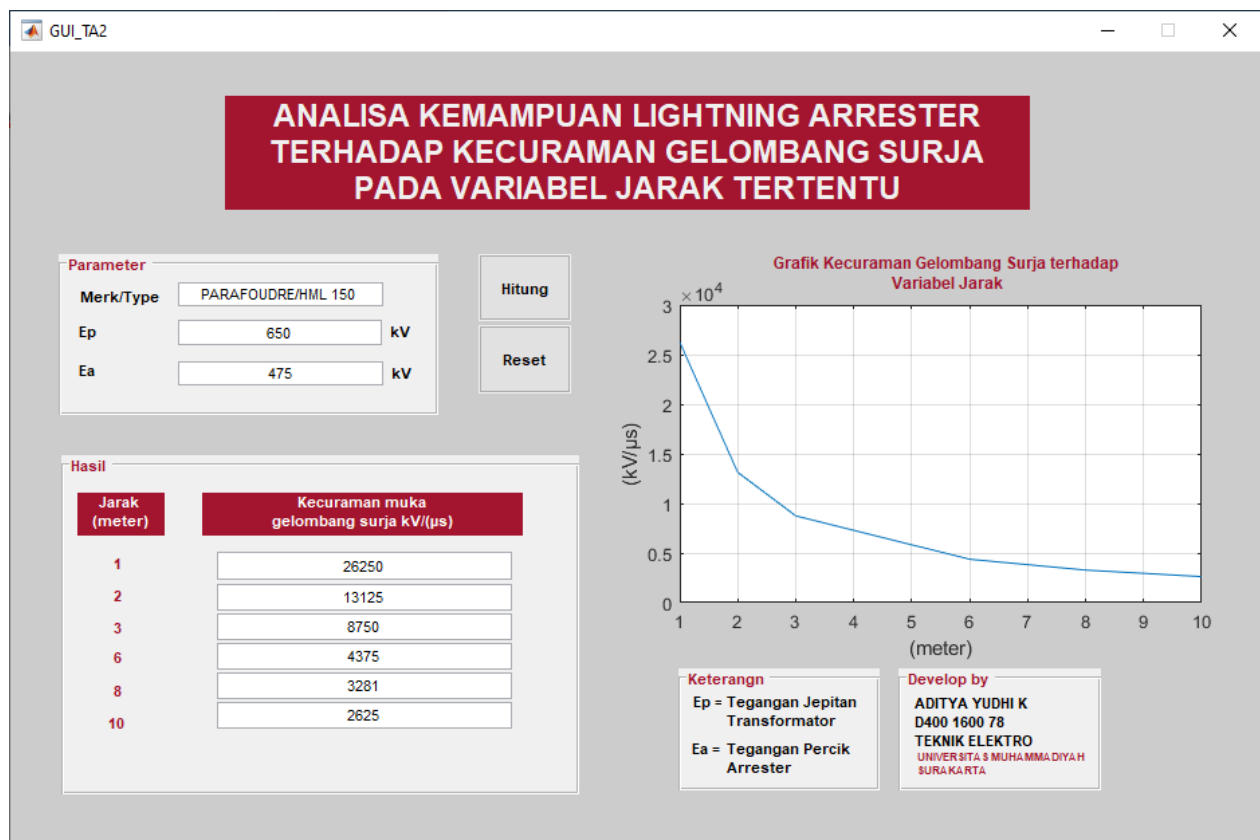
Tegangan pada Jepitan Transformator (E_p) merupakan tegangan maksimal yang akan diterima transformator, apabila transformator menerima tegangan melebihi tegangan pada Jepitan Transformator (E_p), maka transformator tersebut akan memutuskan aliran listriknya terhadap sistem, dan apabila transformator tersebut menerima tegangan melebihi BILnya (650 kV) maka transformator tersebut akan mengalami panas berlebih dan bahkan terbakar.

3.6 Analisa Perhitungan fungsi kecuraman muka gelombang surja

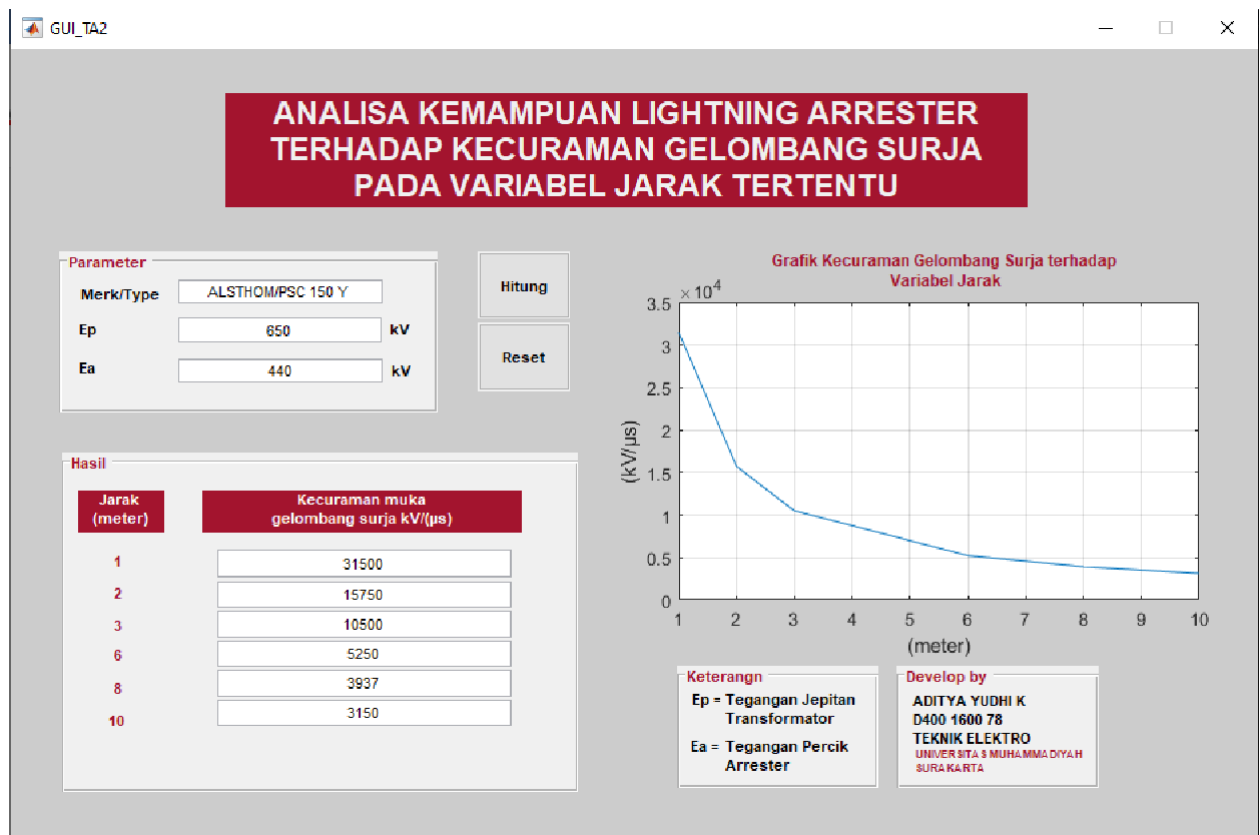
dengan variable jarak tertentu

Jarak (S) antara *lightning arrester* yang terpasang dengan transformator tentu sangat berpengaruh terhadap kinerja dari *lightning arrester* itu sendiri dalam menahan seberapa besar kecuraman gelombang ($\frac{de}{dt}$) yang mampu ditahan pada gardu induk ketika ada gangguan surja petir. Perhitungan kali ini, akan dianalisa mengenai kinerja *lightning arrester* terhadap gangguan surja petir apabila pemasangannya tidak sejauh 3 meter. Perhitungan kali ini akan menggunakan *Graphical User Interface* Matlab sebagai pengolah data dalam menganalisa kemampuan *lightning arrester* terhadap kecuraman gelombang surja terpasang saat *lightning*

arrester terpasang pada jarak 1 , 2 , 3 , 6 , 8, dan 10 dengan transformator.



Gambar 3. GUI Matlab untuk Perhitungan pada *lightning arrester 1*



Gambar 4. GUI Matlab untuk Perhitungan pada *lightning arrester 2*

Analisa di atas menggunakan persamaan :

$$A = (E_p - E_a) \times V/2S \dots\dots\dots (7)$$

Penentuan (E_a) berdasarkan data pengujian pemilihan *lightning arrester* pada Gardu Induk dan untuk Tegangan jepitan transformator (E_p) pada Gardu Induk Mojosongo Boyolali adalah 650 kV.

4 PENUTUP

Berdasarkan hasil perhitungan, koordinasi isolasi di gardu induk Mojosongo Boyolai terhadap tegangan lebih akibat sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV dapat disimpulkan :

- a Hasil perhitungan didapatkan nilai arus pelepasan arrester yaitu 5,58 kA. Sedangkan arus pelepasan nominal arrester sebesar 10 kA. Hal ini berarti bahwa arus pelepasan arrester masih dibawah pelepasan nominal , sehingga *lightning arrester* masih bias bekerja dengan baik.
- b. Analisis untuk perhitungan Faktor Perlindungan pada gardu induk mendapatkan hasil FP Transformator daya 150/22 kV = 74%, FP Transformator Daya 150/20 kV = 74% , dan FP CT 600/1A dan *Disconnecting Switch* (DS) = 40 %. Faktor perlindungan tersebut sudah baik karena sudah diatas batas standar yaitu 20 %.
- c. Hasil perhitungan didapatkan nilai jarak maksimum pemasangan *lightning arrester 1* dan transformator 1 sebesar 26 meter ,serta *lightning arrester 2* dengan transformator 2 sebesar 31 meter. Sedangkan jarak pemasangan kedua arrester dengan transformator yang ada di lapangan sebesar 3 meter. Hal ini berarti bahwa jarak pemasangan arrester dan transformator yang ada di lapangan tidak melebihi batas maksimum dalam pemasangan arrester
- d. Analisis perhitungan dengan metode kecuraman muka gelombang surja maka dapat diketahui pada jarak 3 meter antara *lightning arrester* dengan transformator dengan tegangan jepitan transformatur (E_p) disetting 500 kV , maka *lightning arrester 1* dengan merk PARAFODRE type HML 150 tersebut dapat menahan 8.750 kV/ μ s kecuraman gelombang surja yang menyambar, sementara maka *lightning arrester 2* dengan merk merk ALSTHOM type PSC 150 Y tersebut dapat menahan 10.500 kV/ μ s kecuraman gelombang surja saat menyambar. Kemampuan *lightning arrester* tersebut semakin baik apabila di pasang sedekat mungkin dengan transformator, karena dapat menahan kecuraman gelombang surja lebih besar.

PERSANTUNAN

Tugas akhir ini dikerjakan, tidak lepas dari berbagai pihak yang membantu. Penulis berterimakasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan hidayah, rahmat serta inayah-Nya.
2. Kedua orang tua saya Khustiyono dan Khuyaerni serta adik saya Aghnia Nafilah Husna yang selalu memberikan doa , nasihat , motivasi sertadukungan
3. Bapak Umar S.T,M.T, selaku pembimbing tugas akhir yang sudah memberikan arahan dan ilmunya terkait tugas akhir.
4. Bapak Angga selaku SPS Gardu Induk Mojosingo yang membantu mencari data dan memberikan ilmunya.
5. Semua bapak dan ibu dosen Teknik elektro yang telah memberikan ilmunya selama perkuliahan.
6. Seluruh rekan – rekan BEM FT angkatan 2016 yang selalu memberikan doa dan wejangannya.
7. Seluruh rekan – rekan Teknik Elektro 2016 , Aerobo UMS dan Asisten Laboratium yang selalu memberikan doa , dukungan serta membagi ilmunya.
8. Siti Khodijah Purbasari yang selalu memberikan dukungan, nasihat dan doa sehingga tugas akhir ini bisa terselesaikan dengan baik

DAFTAR PUSTAKA

- Adiwibowo, T. S. (2019). Perancangan Proteksi Petir SUTET dengan Konsep lightning performance Dan Kinerja arrester. *Energi & Kelistrikan*, 11(2), 98-107.
- Assafat ,L., Wibowo, I.E., Prasetyo, M.T. (2012). Evaluasi Perlindungan Gardu Induk 150 KV Pandean Lamper di Trafo III 60 MVA Terhadap gangguan surja petir. *Media Elektrika*(5) : 27-41.
- Bayadi, A., & Bedoui, S. (2018). Probabilistic evaluation of the substation performance under incoming lightning surges. *Electric Power Systems Research*, 162, 125–133.
- Bezerra, G. V., Nobrega, L. A., Junior, J. F., Lira, G. R., Brito, V. S., Costa, E. G., & Maia, M. J. (2014). Evaluation of surge arrester models for overvoltage studies. *2014 ICHVE International Conference on High Voltage Engineering and Application*.

Brando,A.R., Fielman, L., Lily, S. P. (2018). Analisa Koordinasi Isolasi Peralatan di Gardu Induk Teling 70 kV. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*(7): No. 2 . 150 -161.

Criyanto, E., Supriyatna, S., Muljono, A. B. (2020). ANALISIS KOORDINASI ISOLASI Di GARDU INDUK Kuta TERHADAP TEGANGAN LEBIH AKIBAT SAMBARAN PETIR PADA SALURAN TRANSMISI 150 KV . *DIELEKTRIKA*, 7(1), 64.

Hajar, I., & Rahman, E. (2018). Kajian pemasangan lightning arrester pada sisi hv transformator daya unit satu gardu induk teluk betung. *Energi & Kelistrikan*, 9(2), 168-179.